

ВЛИЯНИЕ РАВНОМЕРНОГО ПОДВОДА СРЕДЫ НА СТРУКТУРУ ПОТОКА В ТУПИКОВОЙ ЗОНЕ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ

Наведено результати чисельного розрахунку аеродинаміки потоку в циклонній камері із рівномірним підведенням середовища за допомогою програмного забезпечення *FlowVision*. Отримано розподілення структури потоку та запропоновано розрахункові залежності для обчислення тангенціальних та осьових швидкостей.

Happen to the results of the numerical calculation vortical Aerodynamics of a stream in the cyclonic chamber with even admission of environmentas software was used program *FlowVision*. Distributing of structure of stream and calculation dependences are offered for the calculation of tangential and axial speeds.

Введение

Вопросу изучения структуры потока в тупиковой части, в случае подвода газовой среды через равномерно распределенные впускные окна, была посвящена незначительная часть исследования “торцевого эффекта” [1, 2]. Большая часть исследований в этом направлении касалась подводу среды через одиночное тангенциальное сопло [3–5]. Однако в ряде случаев применение распределенного подвода тоже находит широкое применение. В промышленной практике, такой тип подвода среды применяется для закрутки среды в проточной части камеры. Но как показали исследования, тупиковая камера способна интенсифицировать закрутку и улучшить процесс перемешивания.

Сложность решаемой задачи требует проведения экспериментальных исследований в очень большом объеме. Поэтому был выбран оптимальный путь — проведение численного эксперимента. В качестве программного продукта для расчетов был выбран пакет *FlowVision*. Тем не менее данная работа в своей основе имеет результаты физического многокритериального эксперимента как для пояса окон, так и для одиночных сопел в тупиковой части камеры.

Постановка задачи

Процесс течения газа в тупиковой области вихревой камеры зависит от большого числа разнообразных факторов, степень влияния которых на выходной параметр неодинакова. При выборе наиболее существенных факторов, влияющих на кинематику тупиковых течений и хотя бы ориентировочного определения интервалов варьирования параметров, учитывались результаты предварительных опытов.

Принцип работы вихревых камер состоит в создании закрутки потока. Применительно к вихревым камерам угол тангенциальности впускных окон может достигать 90° — вход по касательной к внутренней поверхности (рисунок 1), а могут быть выполнены и с небольшой степе-

нью тангенциальности (угол γ менее 35°). Нельзя также исключать возможности влияния числа Рейнольдса на картину течения в изучаемой области. Влияние осевых углов впускных окон на структуру потока в работе не рассматриваются. В качестве основного выходного параметра использована местная осредненная по времени скорость (осевая и тангенциальная) потока в любой точке тупиковой части.

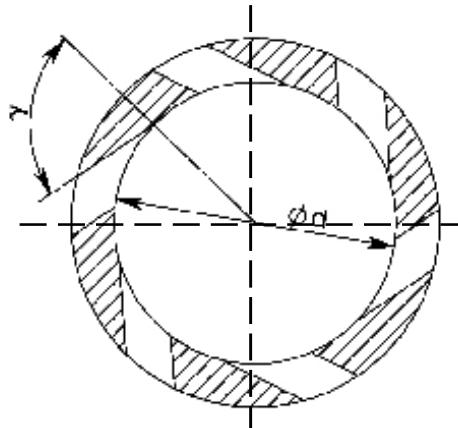


Рисунок 1 — Геометрия впускных окон.

В работе были приняты следующие условные обозначения: глубина тупиковой области L , угол тангенциальности γ , число Рейнольдса Re_c (по параметрам впускных окон), продольная координата z и текущий радиус r вихревой камеры (ВК).

В эксперименте торец располагался на расстоянии, равном 4,4 диаметра цилиндра, для пояса из 6 окон от седдинного сечения впускных окон камеры.

Были проведены измерения по определению статического давления в продольном и поперечном направлениях тупиковой области ВК. В этой части работы была исследована одиночная закрученная струя. Во всей тупиковой области наблюдается разрежение.

Диаграммы статического давления (рисунок 2) показывают, что зона наибольшего разрежения потока находится на относительных радиусах до $r=0,56$ в основном в проточной части камеры с небольшим проникновением в область тупиковой части. Степень углубления зоны низкого давления зависит от угла тангенциальности впускных окон. Для малых углов зона “ $-p_{ct}$ ” находится в пределах ширины впускных окон, а для пояса окон с полной тангенциальностью предельная глубина зоны “ $-p_{ct}$ ” не превышает 1,5-кратной ширины впускных окон, если считать от их среднего сечения. В остальной области сечения давление на малых и больших радиусах камеры практически одинаково.

Из-за равномерности распределения пониженного давления по сечению вблизи входа имеет место осесимметричный характер осевого потока, вызванного эжекцией (рисунок 3).

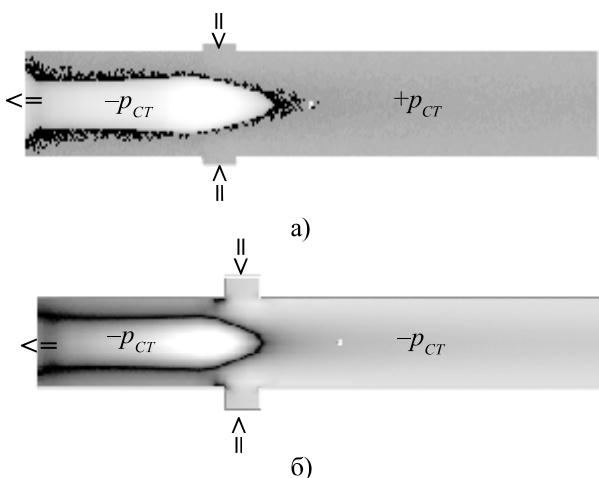


Рисунок 2 — Картина распределения зон давления:
а) $\gamma = 90^\circ$, $L/d=4,4$; б) $\gamma = 35^\circ$, $L/d=4,4$.

Входящие через отдельные проходные сечения пояса окон струи, увлекая друг друга во вращение, создают в поперечном сечении рабочего участка равномерный непрерывный кольцевой поток, выравнивая распределение давления по этому сечению в отличие от случая с односторонним подводом.

Эксперимент показал наличие противонаправленных устойчивых вихревых структур тупикового течения. Согласно визуализации в программе FlowVision, было замечено, что во вращении существует основная масса воздуха тупиковой области рабочего участка, элементы которой эjectируются и уносятся потоком при осевой зоне цилиндра к выходу рабочего участка, при одновременной подпитке веществом и энергией области тупикового течения от входящей в рабочий участок струи.

В результате численного моделирования были определены локальные осевые скорости и предлагается эмпирическая зависимость (в безразмерных параметрах), описывающая их распределение для полной тангенциальности впускных окон с точностью до 4%:

$$\bar{u} = (-0,45 \cdot \bar{r} + 0,3) \cdot z + 2,1 \cdot \bar{r} - 1,4, \quad (1)$$

где \bar{u} — безразмерная осевая составляющая скорости (осредненная местная скорость u вдоль оси z , отнесенная к среднерасходной скорости U воздуха в проточной части камеры).

Графики распределения осевой скорости по длине и радиусу представлены на рисунке 4. Для минимального исследованного угла тангенциальности установки впускных окон значения скорости на определенном радиусе соответствуют скоростям на некотором радиусе при полной тангенциальности. Эквивалент радиусов, при которых скорости близки по значениям, приведен в таблице 1.

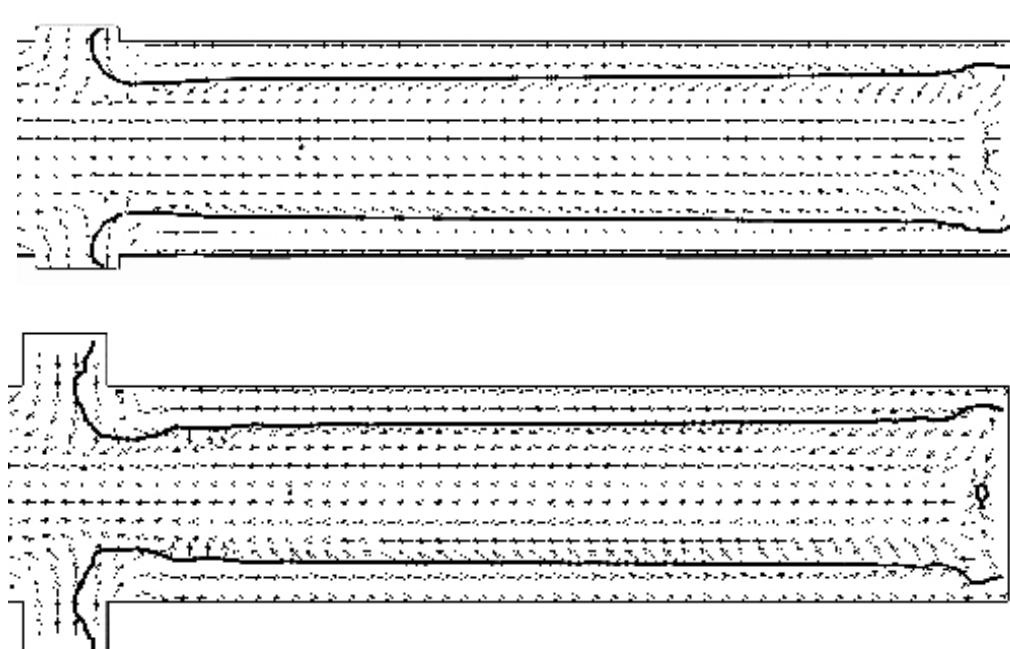


Рисунок 3 — Векторы осевой составляющей скорости вдоль тупиковой части с нанесенной изолинией скорости, равной 0, для: а) $\gamma = 90^\circ$, $L/d = 4,4$; б) $\gamma = 35^\circ$, $L/d = 4,4$.

Таблиця 1 — Значення радіусов для угор γ , при яких осеві швидкості рівні

Значення радіусов для угор тангенціальності	
$\gamma = 90^\circ$	$\gamma = 35^\circ$
0,78	0,98
	0,88
0,69	0,69
0,39	0,1
	0

Діаметральний розмір зони (толстая ізолінія на рисунку 3), яка розділяє протиправильні напрямлені потоки, практично не залежить від угора тангенціальності входу струй і становить $d = 0,64$ для угор $\gamma = 0,61\text{--}1,57 \text{ rad}$ ($35^\circ\text{--}90^\circ$).

Некоторі результати вимірювань розподілення безрозмірних тангенціальних швидкостей повітря $\bar{w}=w/U$ (w — тангенціальна (окружна) швидкість, U — середньорозходна швидкість в працюючому секторі) на всій довжині тупикової області працюючого сектора (диапазон зміннотої глибини $\bar{L} = L/d_0$ розташування торца від серединного сечения впускних отворів — від 0,47 до 4,4) в залежності від зміннотої радиуса $\bar{r} = r/r_0$, представлені в виде графіків (рисунок 5).

Ці дані були отримані під час натурного дослідження. Многочисленні експерименти показали, що суттєвий вплив на окружні швидкості в сеченнях вихревої камери має розташування торца і угор тангенціальності γ входу повітря. В загальному випадку, вплив Re_c на характер розподілення $\bar{w} = f(\bar{r})$ не дуже великий.

Формулу для обчислення окружної швидкості повітря по радиусам від тупикової зони для камери з поясом впускних отворів можна представити в виде комбінованого степенного полінома

$$\bar{w}_n = \sum_{i=0}^4 C_i \cdot (\bar{r})^i \cdot \left(M + N \cdot i^{0.85 Re_c^{0.1}-2} \right), \quad (2)$$

де C_i — емпірическі параметри, які можуть бути визначені за однотипною формулой

$$C_i = (k_1 + k_2 \cdot Re_c^{0.5}) \cdot \gamma^3 + (k_3 + k_4 \cdot Re_c^{0.5}) \cdot \gamma^2 + (k_5 + k_6 \cdot Re_c^{0.5}) \cdot \gamma + k_7 + k_8 \cdot Re_c^{0.5}, \quad (3)$$

$$M = (0,242 \cdot Re_c^{0.1} - 0,615) \cdot \bar{L}^2 + (-7,266 \cdot Re_c^{0.1} + 18,11) \cdot \bar{L} + 25,401 \cdot Re_c^{0.1} - 62,116, \quad (4)$$

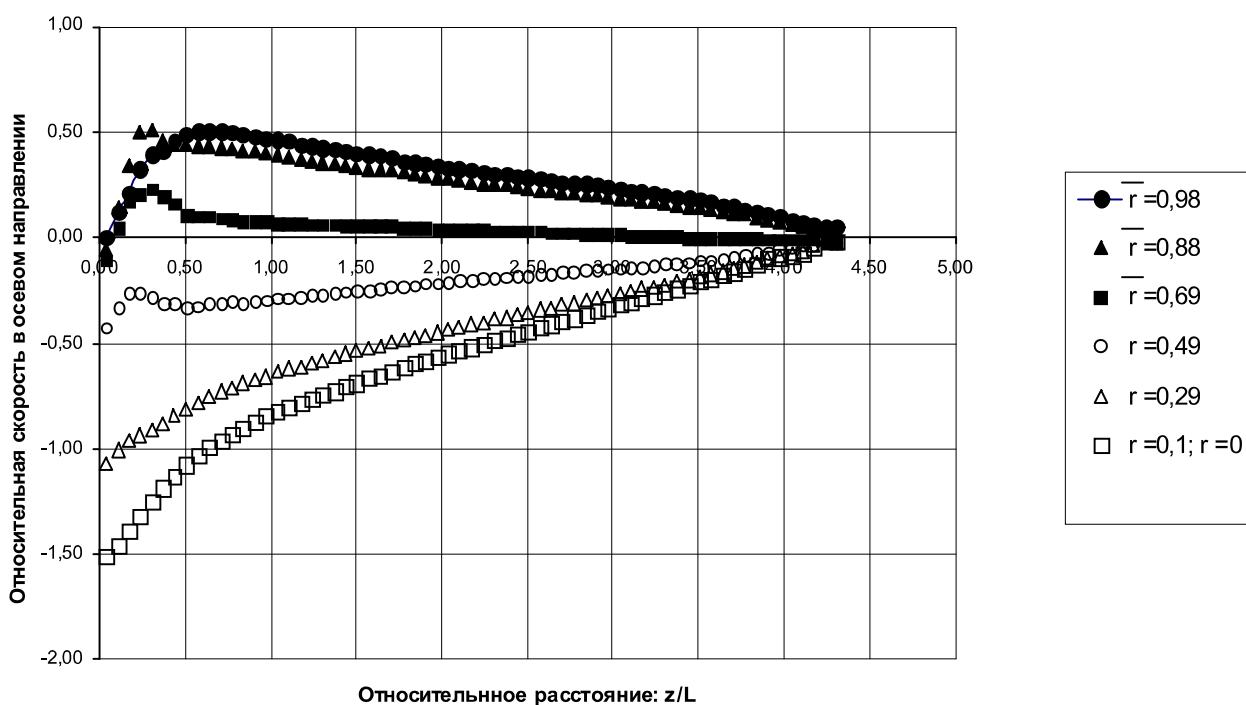


Рисунок 5 — Розподілення окружних швидкостей для пояса отворів при $Re_c = 27077$, $\bar{L} = 4,4$, $\gamma = 1,484 \text{ rad}$, $\alpha = 0 \text{ rad}$: 1 — $z/L = 0,43$; 2 — $z/L = 0,54$; 3 — $z/L = 0,64$; 4 — $z/L = 0,71$; 5 — $z/L = 0,85$; 6 — $z/L = 1,00$; 7 — обчислювана кривія.

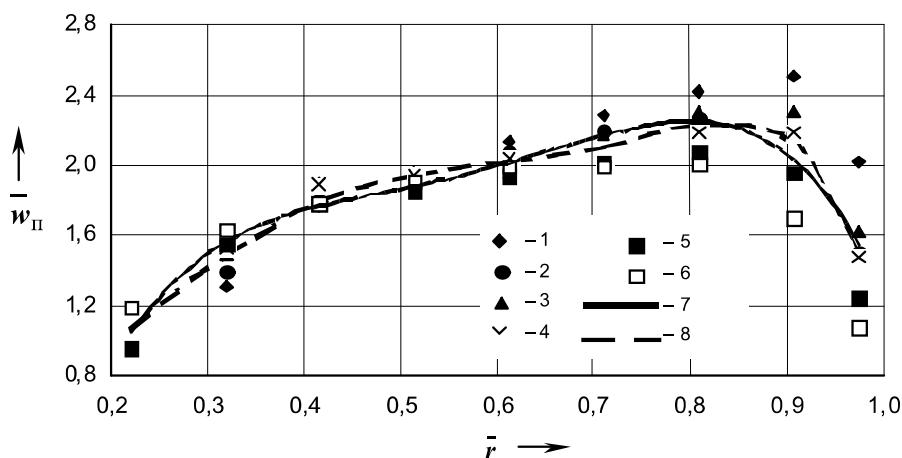


Рисунок 5 — Распределение окружных скоростей для пояса окон при $Re_c = 27077$, $\bar{L} = 4,4$, $\gamma = 1,484$ рад, $\alpha = 0$ рад: 1 — $z/L = 0,43$; 2 — $z/L = 0,54$; 3 — $z/L = 0,64$; 4 — $z/L = 0,71$; 5 — $z/L = 0,85$; 6 — $z/L = 1,00$; 7 — расчётная кривая.

$$N = \left(-0,506 \cdot Re_c^{0,1} + 1,285 \right) \cdot \bar{L}^2 + \\ + \left(6,036 \cdot Re_c^{0,1} - 15,241 \right) \cdot \bar{L} - \\ - 16,136 \cdot Re_c^{0,1} + 40,626 . \quad (5)$$

Re_c — число Рейнольдса, определяемое по гидравлическому диаметру суммарного проходного сечения пояса окон. Диапазон изменения от 10000 до 28000.

Угол тангенциальности впускных окон γ , изменяющийся в диапазоне от 0,61 до 1,57 рад.

Значения коэффициентов k_j , необходимые для расчётов параметров C_j , сведены в таблицу 2.

Таблица 2 — Значения коэффициентов k_j

j	k_j				
	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
1	185,63	-1098,55	2364,54	-2194,8	739,33
2	-0,91	5,44	-11,89	11,32	-3,94
3	-515,44	3063,20	-6608,6	6142,37	-2070,1
4	2,68	-16,27	35,96	-34,60	12,19
5	400,00	-2382,42	5134,52	-4754,7	1593,22
6	-2,22	13,72	-30,62	29,74	-10,57
7	-86,28	527,43	-1131,0	1036,16	-341,33
8	0,48	-2,99	6,59	-6,27	2,18

Выводы

Равномерность распределения пониженного давления по сечению камеры создаёт благоприятные условия для осесимметричности характера тупикового течения.

Литература

- Макаренко, Р.А., Турик, В.Н. О макроструктуре приорцевого течения в вихревой камере // Вестник Нац. техн. ун-та Укр. "КПИ". Машиностроение. — Киев. — 1999. — Вып. 35. — С. 127—131.
- Турик, В.Н., Макаренко, Р.А. Аэродинамика вихревой камеры с равномерным тангенциальным подводом воздуха // Сборник научных трудов Киров. Гос. техн. ун-та. — Кировоград. — 2000. — Вып. 7. — С. 38—43.
- Макаренко, Р.А., Турик, В.Н. Кинематика течения в тупиковой части вихревой камеры // Прикладная гидромеханика. — 2001. — Т. 3 (75). — № 1. — С. 46—51.
- Макаренко, Р.А., Турик, В.Н. Способы визуализации течения в цилиндрической вихревой камере // Промислові гідравліка і пневматика. — 2009. — №2. — С.23—25.
- Макаренко, Р.А. Численное моделирование трехмерного течения в цилиндрической вихревой камере // Промислові гідравліка і пневматика. — 2009. — №1. — С. 29—31.